Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 401-415

Evaluation of Plant Nitrogen Use Efficiency in Different Crop Rotations

J. Etezadi Jame[1], S. V. Eslami[2*], M. Jami Al-Ahmadi[2], M. H. Sayyari[2]

Received: 13-12-2021 Revised: 10-06-2022 Accepted: 13-06-2022	**How to cite this article:** Etezadi Jame, J., Eslami, S. V., Jami Al-Ahmadi, M., & Sayyari, M. H. (2023). Evaluation of Plant Nitrogen Use Efficiency in Different Crop Rotations. *Iranian Journal of Field Crops Research, 20*(4): 401-415. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74126.1128

Introduction

There is an urgent need to increase per capita food production to compete with high population growth while maintaining environmental sustainability. Because nitrogen plays a vital role in food production for humans and livestock, nitrogen management is essential in food production. In most cropping systems, nitrogen management seems to be a major challenge due to its high mobility and natural tendency for losses from the soil-plant system to the environment. Soil organic carbon plays a key role in improving soil ecological conditions. Adding organic matter to the soil is an excellent tool for improving physical, chemical and biological conditions and is almost always desirable. Soil organic carbon stock of crop ecosystems may be increased by improving farming practices. The application of green manure, fertilizer and the return of crop straw into the soil are known as management operations to increase soil organic carbon. Fertilizers, especially nitrogen, increase crop yield, and organic carbon is returned to the soil through roots and debris, which in most cases leads to increased soil organic carbon.

Materials and Methods

This study was conducted with the aim of utilizing a set of improving farming practices in diverse cropping systems to improve nitrogen efficiency during two crop years. Farming practices including removal of summer fallow were used by importing three crops of mung bean, corn and wild rocket in rotation plus nitrogen supply levels factor. The crop rotation factor was applied in four levels of Fallow-wheat, mung bean-wheat, corn-wheat and wild rocket-wheat and the factor of nitrogen fertilizer (0, 180 and 360 $kg.ha^{-1}$) in a randomized complete block design as factorial. Soil mineral nitrogen (nitrate and ammonium) were measured before sowing wheat and grain, straw and total plant nitrogen after harvest. Uptake efficiency, utilization efficiency, agronomic efficiency and nitrogen harvest index were calculated.

Results and Discussion

The results of combined analysis of variance showed that the crop rotation and nitrogen were significantly effective ($\rho \leq 0.01$) on plant nitrogen, harvest index and nitrogen efficiency. Increasing nitrogen fertilizer up to 360 $kg.ha^{-1}$ increased grain nitrogen, straw nitrogen, total plant nitrogen and also nitrogen harvest index. While the best uptake, utilization and agronomic efficiency of nitrogen was observed on the treatment without nitrogen fertilizer. Comparison of the means showed that the wild rocket-wheat crop rotation had the best result among all measured traits except utilization efficiency, while the utilization efficiency in the corn-wheat crop rotation showed the best performance. The results clearly show the effect of increasing organic carbon on nitrogen availability and grain nitrogen concentration as well as the role of cover crops and legume, in increasing access to nitrogen. The amount of grain nitrogen was directly affected by the amount of nitrogen fertilizer. The highest correlation coefficient was seen between agronomic and uptake efficiency ($r = 0.96^{**}$). There was also a significant inverse relationship between nitrogen harvest index and the types of calculated efficiencies. The amount of uptake efficiency and agronomic efficiency in all crop rotations except corn-wheat in the second year

1- Ph.D. candidate of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: sveslami@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74126.1128

improved compared to the first year. The highest increase in efficiency in the second year was related to the wild rocket-wheat crop rotation. In the conditions of 360 and 180 kg.ha^{-1} nitrogen fertilizer, the nitrogen harvest index increased in the second year compared to the first year. While in conditions without nitrogen fertilizer, nitrogen harvest index has a significant decrease. Therefore, at least in the short term, to increase the nitrogen harvest index, the minimum supply of nitrogen fertilizer should be used, even under improving crop management conditions such as green manure, removal of fallow and introduction of legumes in rotation and return of crop residues.

Conclusion

Continuous cropping, removal of fallow, use of cover crops and legume and preservation of residues led to increased carbon and nitrogen sequestration in soil and consequently increase biomass and nitrogen concentration in plant tissue. On the other hand, crop rotations that increased soil organic carbon and improved soil fertility quickly improved nitrogen efficiency and nitrogen harvest index.

Keywords: Cover crop, Nitrogen harvest index, Nitrogen use efficiency, Organic carbon

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۱، ص ٤۱٥-٤۰۱

بررسی کارآمدی مصرف نیتروژن گیاه در تناوب‌های مختلف زراعی

جواد اعتضادی جمع[1]، سید وحید اسلامی[2*]، مجید جامی الاحمدی[2]، محمد حسن سیاری[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

چکیده

نیتروژن یک نقش مهم و حیاتی در تولید غذا برای انسان و دام دارد و مدیریت نیتروژن در تولید غذا ضروری است. این پژوهش به منظور بهره‌گیری از مجموعه اقدامات زراعی مطلوب و با هدف بهبود کارآمدی مصرف نیتروژن طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه‌ای در دشت کرات تایباد اجرا شد. در این تحقیق عامل تناوب زراعی در چهار سطح آیش-گندم، منداب-گندم، ماش-گندم و ذرت-گندم و عامل کود نیتروژن در سه مقدار ۳۶۰، ۱۸۰ و صفر کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. نتایج نشان داد که تناوب زراعی و کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری بر محتوای نیتروژن گیاه، شاخص برداشت و کارایی نیتروژن موثر بود. همچنین تیمار منداب-گندم و ماش-گندم بدون مصرف کود نیتروژن به‌ترتیب بهترین کارایی جذب و کارایی زراعی نیتروژن را از خود نشان دادند. همچنین مقدار کارایی جذب و کارایی زراعی در همه تناوب‌های زراعی به‌جز ذرت-گندم در سال دوم نسبت به سال اول بهبود یافت. افزایش حاصلخیزی خاک ناشی از افزایش کربن و نیتروژن آلی و کاهش تلفات آن مهم‌ترین دلایل بهبود کارایی نیتروژن بودند. نتایج به وضوح نشان داد که با وجود افزایش حاصلخیزی خاک ناشی از تناوب زراعی، تامین کود نیتروژن ضروری است، در غیر این صورت باعث کاهش محتوای نیتروژن گیاه و شاخص برداشت نیتروژن خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن، کربن آلی، گیاه پوششی

مقدمه

نیاز فوری برای افزایش تولید غذا برای رقابت با رشد جمعیت بالا در حالی‌که پایداری محیطی نیز حفظ شود، وجود دارد (Musyoka *et al.*, 2017). پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی برای غلات اصلی از قبیل گندم (*Triticum aestivum* L.) بیش از ۷۰ درصد تا سال ۲۰۵۰ افزایش یابد. برای نیل به این هدف، تولید غلات بایستی به‌طور پایداری افزایش یابد و از سوی دیگر ردپای محیطی کشاورزی باید به‌طور جدی کاهش یابد. دسترسی محدود به اراضی کشت نشده بر روی کره زمین و نگرانی‌های محیطی فزاینده در ارتباط با تبدیل جنگل‌ها و چمنزارهای غنی از کربن به اراضی زراعی باعث شده است که افزایش تولید غلات در آینده عمدتا بایستی از اراضی زراعی موجود حاصل گردد (GAN *et al.*, 2014).

از آن‌جایی‌که نیتروژن یک نقش مهم و حیاتی در تولید غذا برای انسان و دام دارد و روند مصرف رو به رشد آن منجر به سه برابر شدن تولید غذا در پنجاه سال گذشته شده است، مدیریت نیتروژن در تولید غذا ضروری است (Musyoka *et al.*, 2019). کشاورزان نیازمند کاربرد مقادیر بسیار زیادی کود نیتروژنی به دلیل کارایی پایین آن ناشی از تلفات زیاد در سیستم‌های خاک-گیاه می‌باشند. کمبود نیتروژن در همه خاک‌های کشاورزی و همه نظام‌های زراعی در سراسر جهان وجود دارد، بنابراین استفاده از کودهای نیتروژنی در تولید گیاهان زراعی برای جبران تقاضای فزاینده جمعیت انسانی ضروری است. تعداد زیادی از گیاهان خانواده بقولات و میگروارگانیسم‌های خاک پتانسیل تبدیل نیتروژن به فرم‌های قابل جذب گیاه را دارند. اما اهداف عملکردی مورد نیاز برای تامین نیاز جمعیت در حال رشد توسط کاربرد نیتروژن اضافی به‌دست خواهد آمد (Yadav *et al.*, 2017).

در اکثر نظام‌های زراعی، مدیریت نیتروژن به دلیل قابلیت

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول : Email: sveslami@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74126.1128

جابه‌جایی بالا و تمایل طبیعی آن برای تلفات از سیستم خاک-گیاه به محیط‌زیست به نظر می‌رسد یک چالش بزرگ باشد. تکنیک‌های مدیریت کارآمد نیتروژن برای بهبود تحویل و حفظ نیتروژن در خاک‌ها به‌منظور افزایش کارایی مصرف نیتروژن، افزایش عملکرد اقتصادی، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود پایداری اقتصادی در بیشتر نظام‌های زراعی ضروری است. چندین تکنیک شامل مصرف کودهای آهسته رهش، مقدار و زمان‌بندی مصرف کودها، مصرف کود دامی، تناوب زراعی، کاربرد گیاهان واسطه[1]، بقایای گیاهی و استفاده از ژنوتیپ‌های کارآمد نیتروژن می‌تواند کارایی مصرف نیتروژن را بهبود دهد (Musyoka *et al.*, 2017).

نیتروژن برای رشد و تولید مثل حیاتی است. بنابراین، هرگونه محدودیت برای جذب نیتروژن و کارایی تبدیل نیتروژن اعمال شده توسط فرآیندهای محیطی، فیزیولوژیکی و زراعی منجر به کاهش عملکرد می‌شود (de Oliveira Silva *et al*., 2020). در واقع کاربرد کود نیتروژن در تولید گندم اغلب دو مشکل ایجاد می‌کند. اولاً کاربرد نیتروژن برای افزایش عملکرد مفید است اما ناگزیر کارایی مصرف نیتروژن را کاهش می‌دهد (Srivastava *et al.*, 2018). دوآن و همکاران (Duan *et al.*, 2019) این مشکل را تایید کردند، آن‌ها نشان دادند که کارایی جذب و تبدیل نیتروژن با افزایش مصرف کود به‌صورت خطی کاهش می‌یابد و هرچه میزان مصرف نیتروژن بیشتر باشد، مقادیر آن‌ها کمتر است. علاوه بر این، عملکرد به‌طور کلی یک رابطه خطی یا یک رابطه درجه دوم با میزان کاربرد نیتروژن نشان داد و سطوح بیش از حد کاربرد نیتروژن باعث کاهش عملکرد شد. دوما، نیتروژن گیاه نیز جذب لوکس را نشان می‌دهد. هم عملکرد و هم تجمع نیتروژن با کاربرد نیتروژن افزایش می‌یابد، اما وقتی عملکرد به حد اشباع می‌رسد، با ادامه افزایش کاربرد نیتروژن، تجمع نیتروژن نیز افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که تجمع نیتروژن یک رابطه منحنی درجه چهار با میزان کاربرد نیتروژن، مشابه عملکرد را نشان داد. این جذب غیرموثر نیتروژن در اندام‌های رویشی مانند ساقه، برگ و غلاف ذخیره می‌شود که برای محصول بی‌اثر بود اما برای تولید مؤثر بود.

نظام‌های زراعی فشرده (از قبیل کشاورزی مداوم و تک کشتی) تولید پایدار محصولات کشاورزی را در سطح ملی و جهانی به چالش کشیده است. عملیات متعددی افزایش بهره‌وری را هدف قرار داده‌اند که بر اجزا و فرآیندهای اکوسیستم تاثیر می‌گذارند. این روش‌ها نیاز به تحقیقات مستمری در رابطه با نظام‌های زراعی دارد تا مشخص شود چگونه خدمات اکوسیستمی حفظ شود و تولید در بلندمدت پایدار بماند، که در این‌جا خدمات اکوسیستمی عمدتا به ظرفیت افزایش حاصلخیزی خاک ناشی از افزایش کربن آلی و ترسیب کربن اشاره دارد. یک الگو جایگزین برای عملیات کشاورزی رایج برای دستیابی به چالش افزایش بهره‌وری به طوری که تامین خدمات اکوسیستمی حفظ شود و بنابراین به اهداف پایداری دست یابیم تحت عنوان "تشدید اکولوژیکی"[2]، پیشنهاد گردیده است. مواردی از تشدید اکولوژیکی، شامل کشاورزی ارگانیک، نظام‌های زراعی متنوع[3]، تقلید طبیعی[4] (Pinto *et al.*, 2017)، حذف یا کاهش دوره‌های آیش (GAN *et al.*, 2014) و تعدادی از فرم‌های کشاورزی حفاظتی است. عملیاتی از قبیل کشت مخلوط، گیاهان پوششی (Chavarria *et al.*, 2016)، حفظ بقایا (Rathore *et al.*, 2018)، کشت دوگانه[5] (مضاعف، مجدد) در کشاورزی حفاظتی برای افزایش پایداری پیشنهاد شده است (Pinto *et al.*, 2017).

کربن آلی خاک یک نقش کلیدی در بهبود شرایط اکولوژیکی خاک بازی می‌کند (Alhameid *et al.*, 2017). افزودن مواد آلی به خاک یک ابزار عالی برای بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است و تقریبا همیشه مطلوب است (Powlson *et al.*, 2011). موجودی کربن آلی خاک اکوسیستم‌های زراعی ممکن است به‌وسیله بهبود عملیات زراعی افزایش یابد. کاربرد کود سبز، کود دامی و برگرداندن کاه و کلش گیاهی به داخل خاک به‌عنوان عملیات مدیریتی افزایش‌دهنده کربن آلی خاک شناخته می‌شوند (Zhang *et al.*, 2016). به‌عنوان مثال گزارش شده است که بازگشت کاه به‌طور قابل‌توجهی میانگین محتوای کربن آلی خاک را در زمین‌های زراعی جهانی به میزان ۱۲/۸٪ (۱۵-۰ عمق) افزایش داد. بازگشت کاه همچنین ممکن است حاصلخیزی خاک را با تأمین عناصر معدنی و افزایش احتباس آب بهبود بخشد، در نتیجه عملکرد محصول را افزایش دهد. علاوه بر افزایش ترسیب کربن خاک و عملکرد محصول، برگرداندن کاه همچنین به‌طور قابل‌توجهی تلفات نیتروژن را از طریق مسیرهای هیدرولوژیکی (۲۵/۶-۸/۷درصد) کاهش داد، که عمدتاً به افزایش تثبیت نیتروژن میکروبی نسبت داده شد. همچنین مطالعه فراتحلیل نشان داد که نرخ تثبیت نیتروژن خاک و نیتروژن بیومس میکروبی به‌ترتیب ۲۲۷ و ۳۸/۴ درصد افزایش یافت (Xia *et al.*, 2018). کودها مخصوصا نیتروژن عملکرد گیاه زراعی را افزایش می‌دهند و کربن آلی از طریق ریشه‌ها و بقایا به خاک برگردانده می‌شود، که در اکثریت موارد منجر به افزایش کربن آلی خاک می‌شود (Schlesinger, 2010).

افزایش کربن آلی خاک باعث بهبود ظرفیت تبادل یونی (Spohn, 2020)، بهبود ساختمان خاک و ظرفیت نگهداری آب

1- Catch Crop

2- Ecological intensification

3- Diversified farming system

4- Nature mimicry

5- Double cropping

خواهد شد (Powlson *et al*., 2011)، که احتمالا منجر به بهبود رشد در یک سطح کودی مشخص می‌شود. پایین بودن حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی در مناطق خشک به‌ویژه در کشاورزی مرسوم، شرایط را برای تلفات و کاهش کارایی نیتروژن فراهم می‌کند. به سبب جایگاه نیتروژن در اکوسیستم‌های زراعی، یافتن راهکار مطلوب و البته اقتصادی برای کاهش مخاطرات ناشی از تلفات نیتروژن و بهره‌مندی مطلوب از نیتروژن جهت دستیابی حداکثری به عملکرد بسیار ضروری می‌باشد. لذا در این تحقیق تلاش شده است تا با بهره‌گیری از تناوب‌های زراعی مطلوب در سطوح مختلف تامین کود نیتروژن، کارایی نیتروژن در زراعت گندم مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در چهار فصل کشت و طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه‌ای در دشت کراتِ شهرستان تایباد واقع در استان خراسان رضوی با طول جغرافیایی ″۴/۲ ′۳۷ °۶۰ و عرض جغرافیایی ″۴۲/۲ ′۳۶ °۳۴ و ارتفاع ۹۱۰ متر از سطح دریا اجرا شد. پیش از آزمایش، نمونه‌برداری تصادفی خاک از عمق صفر تا ۱۵سانتی‌متری مزرعه انجام و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی وضعیت نیتروژن در گندم، از عامل تناوب زراعی در چهار سطح: ۱) آیش-گندم، ۲) منداب-گندم، ۳) ماش-گندم و ۴) ذرت-گندم و عامل کود نیتروژن در سه مقدار شامل: ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۱۰۰ درصد تامین کود نیتروژن)، ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۵۰ درصد تامین کود نیتروژن) و صفر کیلوگرم کود اوره (بدون تامین کود نیتروژن) و سه تکرار به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. مقدار کود اوره بر اساس انجام آزمون خاک و تعیین مقدار کربن آلی خاک و برآورد مقدار کود اوره مورد نیاز مطابق دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گندم موسسه تحقیقات آب و خاک انجام شد (Moshiri *et al*., 2014). در طول اجرای این تحقیق، برای تامین نیاز نیتروژن برای تجزیه بقایایی که نسبت کربن به نیتروژن بالاتر از ۲۴ داشتند (کاه گندم و ذرت)، مقدار حجم بقایا و نسبت کربن به نیتروژن محاسبه و مقدار نیتروژن اضافی لازم برای تعدیل نسبت کربن به نیتروژن برآورد گردید و به میزان کود نیتروژنی که برای هر کرت در نظر گرفته شده و البته همراه با مراحل تقسیط کود به کرت‌های آزمایشی اضافه گردید (USDA, 2011).

زمین آزمایش در سال قبل از اجرا آیش بود و کشت گیاهان منداب، ذرت و ماش (قبل از گندم) در آخر خرداد و اوایل تیر ماه هر سال انجام گردید؛ همچنین برآورد نیاز کودی هر گیاه قبل از کاشت و بر اساس نتایج آزمون خاک انجام پذیرفت. مقدار بذر کاشته شده برای ذرت ۲۵ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۱۲ بوته در متر مربع، ماش ۱۲ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۲۰ بوته در متر مربع و برای منداب ۱۰ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. کلیه عملیات خاک‌ورزی به‌صورت حفاظتی، با استفاده از دستگاه چیزل پیکر، انجام گرفت و تیمار آیش تابستانه بعد از عملیات خاک‌ورزی رها گردید. گیاه پوششی منداب قبل از گلدهی و بقایای دو تیمار گیاه زراعی در تناوب (ماش و ذرت)، پس از برداشت محصول و کیل‌گیری به داخل خاک برگردانده شدند؛ سپس در آبان هر سال گندم رقم پیشگام به میزان ۲۰۰ کیلوگرم بذر در هکتار و تراکم ۴۵۰ بوته در متر مربع کشت گردید. توصیه کودی همه عناصر به‌جز نیتروژن طبق برآورد نیاز گیاه انجام شد. همچنین بعد از برداشت گندم کلیه بقایای گیاهی گندم در سطح مزرعه حفظ و به داخل خاک برگردانده شد. ضمنا کرتی که برای هر تیمار در نظر گرفته شد، در هر دو سال آزمایش ثابت بود. تقویم زراعی گندم و کلیه گیاهان زراعی در تناوب با گندم در جدول ۱ آمده است.

دراین آزمایش اجزای متفاوت کارایی مصرف نیتروژن به‌صورت زیر در نظر گرفته شد:

۱- نسبت نیتروژن کل گیاه به میزان تامین نیتروژن (که شامل نیتروژن معدنی شده از خاک به‌علاوه نیتروژن به‌کار برده شده به‌صورت کود می‌باشد) که تحت عنوان کارایی جذب نیتروژن می‌باشد.

۲- نسبت عملکرد اقتصادی به نیتروژن کل گیاه که تحت عنوان کارایی تبدیل نیتروژن می‌باشد.

۳- نسبت عملکرد اقتصادی به تامین نیتروژن که کارایی زراعی می‌باشد.

۴- تخصیص نیتروژن کل گیاه به عملکرد اقتصادی که اشاره به شاخص برداشت نیتروژن دارد (Musyoka *et al*., 2017).

به منظور اندازه‌گیری نیتروژن بافت گیاه، در مرحله رسیدگی دانه به تفکیک اندام نمونه‌برداری درصد نیتروژن با روش کجلدال اندازه-گیری شد (Hosseini *et al*., 2013). نیتروژن معدنی (نیترات و آمونیوم) در خاک از ۱۰ گرم خاک تازه با استفاده از ۵۰ میلی‌لیتر سولفات پتاسیم ۰/۵ مولار استخراج شد و غلظت نیترات و آمونیوم با استفاده از اتوآنالیزور جریان تقسیم شده[1] به‌ترتیب در طول موج ۵۴۰ و ۶۶۰ نانومتر تعیین شد (Muyoka *et al*., 2017). نیتروژن کل خاک نیز به روش کجلدال اندازه‌گیری شد(Dikgwatlhe *et al*., 2014) .

نرم‌افزار Excel برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به صفات و نرم‌افزار آماری SAS برای انجام آنالیز داده‌ها استفاده گردید. پس از آزمون بارتلت و اثبات یکنواختی واریانس‌ها مقایسه میانگین‌ها با آزمون FLSD در سطح پنج درصد صورت گرفت و داده‌ها به‌صورت تجزیه مرکب، با ثابت در نظر گرفتن متغیر سال، مورد آنالیز قرار

1- Segmented Flow Auto-Analyzer

گرفتند. همچنین عملیات تجزیه واریانس، مقایسه میـانگین صـفات و همبستگی بین صفات نیز انجام شد.

جدول ۱- برنامه زمانی تاریخ کاشت، برداشت و برگرداندن بقایا گندم و گیاهان در تناوب با گندم
Table 1- Schedule of planting, harvesting and return dates of wheat and plant residues in rotation with wheat

	سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ 2018-2019			سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ 2019-2020		
	کاشت Sowing	برداشت Harvesting	برگرداندن بقایا Returning residue	کاشت Sowing	برداشت Harvesting	برگرداندن بقایا Returning residue
گندم Wheat	آبان12 3 November	خرداد5 26 May	خرداد12 2 June	آبان17 8 November	خرداد10 31 May	خرداد16 6 June
منداب Wild Rocket	خرداد20 10 June	--- ----	مهر10 2 October	خرداد23 13 June	--- ----	مهر16 8 October
ماش Mung Bean	خرداد20 10 June	شهریور23 14 September	مهر10 2 October	خرداد23 13 June	شهریور27 18 September	مهر16 8 October
ذرت Maize	تیر15 6 July	مهر 7 29 September	مهر10 2 October	تیر11 2 July	مهرماه4 26 September	مهر16 8 October

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تناوب زراعـی و سطوح مختلف تامین کود نیتروژن به‌طور معنـی‌داری (P≤ 0.01) بـر محتوای نیتروژن گیاه، شاخص برداشت و کارایی نیتروژن مـوثر بـود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح مختلف تـامین کـود نیتـروژن نیـز نشان داد که تامین کامل کود نیتروژن (۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) باعث افزایش نیتروژن دانه، نیتروژن کـاه، نیتـروژن کـل گیـاه و همچنـین شاخص برداشت نیتروژن گردید. در حالی‌که بهتـرین کـارایی جـذب، تبدیل و زراعی نیتروژن در سطح بدون تامین کود نیتـروژن مشـاهده شد. همچنین مقایسه میـانگین تنـاوب زراعـی نشـان داد کـه تنـاوب زراعـی منـداب-گنـدم بهتـرین نتیجـه را در میـان تمـامی صـفات اندازه‌گیری شده به‌استثنای کارایی تبدیل داشت، در حالی‌کـه کـارایی تبدیل در تنـاوب زراعـی ذرت-گنـدم بهتـرین عملکـرد را نشـان داد (جدول ۳).

محتوی نیتروژن گیاه: نتـایج نشـان داد کـه بـالاترین مقـدار نیتروژن دانه، کاه و نیتروژن کل گیاه مربوط به تیمار منداب-گندم بـا مقدار ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بود. تیمار مـاش-گنـدم بـا همین مقدار مصرف کود نیتروژن نیز بعد از منداب بهترین عملکـرد را در میزان نیتروژن بافت‌های مختلف گیـاه نشـان داد. از سـویی دیگـر تیمار ذرت-گندم بدون تامین کود نیتروژن و پـس از آن تیمـار آیـش گندم بدون تامین کود نیتروژن پایین‌ترین مقدار نیتروژن در بافت‌های مختلف گیاهی را نشان دادند (جدول ۳). در مطالعه‌ای مشابه کـه اثـر بقایای گیاهی و سطوح مختلف کود نیتروژن را بر غلظت نیتروژن دانه گندم بررسی کردند، مشاهده شد که بیشترین میزان نیتـروژن دانـه در تیمار کاربرد ۵۰ درصد کاه جو+ کود سبز ماشک به‌دست آمد، که البته با تیمار کاربرد کود سبز ماشک به تنهایی تفـاوت معنـی‌داری نداشـت (Khamdi *et al.*, 2015). نتایجی که به روشنی تاثیر افزایش کـربن آلی بر فراهمی نیتروژن و غلظت نیتروژن دانه و همچنین نقـش کـود سبز به‌ویژه گیاهان خانواه بقـولات را در افـزایش دسترسـی گیـاه بـه نیتروژن مشابه آن‌چه در نتایج این تحقیق بـه‌دسـت آمـد (جـدول ۳)، نشان می‌دهد.

همچنین نتایج به‌وضوح نشان داد که میزان نیتروژن دانه مستقیما تحت تاثیر میـزان تـامین کـود نیتـروژن قـرار گرفـت (Dordas & Sioulas, 2009)، البته گیاه در تناوب بسته به میزان تجزیه‌پـذیری و نسبت کربن به نیتروژن باعث کاهش شدت اثرپـذیری کـود نیتـروژن گردید، به طوری‌کـه در مطالعـه بـرهمکنش تنـاوب زراعـی و تـامین سطوح مختلف کود نیتروژن بر میزان نیتـروژن بافـت گیـاه مشـخص گردید، که کمترین تفاوت بین سطوح ۳۶۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتـار نیتروژن، مربوط به تناوب زراعی منداب-گندم می‌باشد، که می‌تواند به ظرفیت تامین بخش زیادی از نیاز نیتروژن گیاه توسط گیاه پوششی به خاک برگردانده شده باشد که منجر به کاهش نیاز گیاه گندم بـه کـود نیتروژنه گردید. وضعیتی که در تناوب زراعـی مـاش-گنـدم البتـه بـه نسبت ضعیف‌تری قابل مشاهده است. تناوب زراعـی ذرت-گنـدم بـه دلیل نسبت بالای کربن به نیتـروژن بقایـای ذرت و همچنـین توقـع بالای کشت ذرت به مواد غذایی منجر بـه رسـوب بخـش بزرگـی از نیتروژن در بقایای گیاهی گردید، که به علت سرعت تجزیه پایین آن، نتایج پایین‌ترین مقدار نیتروژن گیاه را در تنـاوب زراعـی ذرت-گنـدم به‌ویژه در شرایط عدم تامین نیاز کود نیتروژن نشان داد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نیتروژن گیاه، شاخص برداشت و کارایی نیتروژن تحت تاثیر تناوب زراعی و کود نیتروژن

Table 2- Analysis of variance (mean squares) of plant nitrogen, nitrogen harvest index and nitrogen efficiency under the influence of crop rotation and nitrogen fertilizer

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	صفات مرتبط با نیتروژن در گیاه Nitrogen-related traits in the crop						
		نیتروژن دانه Grain Nitrogen	نیتروژن کاه Straw Nitrogen	نیتروژن کل گیاه Total Nitrogen	کارایی جذب نیتروژن NUpE	کارایی تبدیل نیتروژن NUtE	کارایی زراعی نیتروژن NUE	شاخص برداشت نیتروژن NHI
بلوک Block	2	0.007	0.00066	0.00729	0.0009	9.9455	13.28	22.85
سال Year	1	0.003	0.00001	0.00001	0.0441	0.0001	49.23	4.87*
سال × بلوک Block × Year	2	0.001	0.00011	0.00014	0.0038	0.8344	3.71	0.24
تناوب Rotation	3	0.743**	0.00665**	0.25368**	0.2641**	60.0878**	201.86**	369.19**
تناوب زراعی × سال Year × Crop rotation	3	0.014*	0.00052*	0.00766**	0.0085**	1.0626	7.50*	7.67*
نیتروژن Nitrogen	2	2.464**	0.03003**	0.95060**	0.9074**	183.2560**	2148.23**	1291.57**
نیتروژن × سال Year × Nitrogen	2	0.004	0.00004	0.00560**	0.0019	3.2335	8.01*	29.38**
نیتروژن × تناوب زراعی Crop rotation × Nitrogen	6	0.022**	0.00004	0.00511**	0.0189**	3.6565	30.34**	17.36**
نیتروژن × تناوب زراعی × سال Year × Crop rotation × Nitrogen	6	0.001	0.00005	0.00038	0.0013	0.7763	1.67	1.20
خطا Error	44	0.004	0.00013	0.00093	0.0011	1.8091	2.03	2.59
ضریب تغییرات (درصد) C.V.%	--	17.0	6.2	17.7	26.9	8.6	32.1	9.7

**، * به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک و پنج درصد را نشان می‌دهد.

*,** Significance at the probability level of 1 % and 5%, respectively

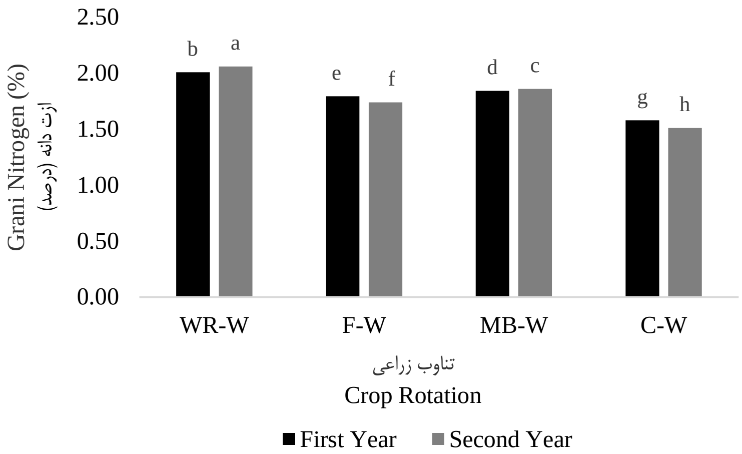
جدول ۳- اثر متقابل سطوح تامین کود نیتروژن و تناوب زراعی بر نیتروژن گیاه، شاخص نیتروژن و کارایی نیتروژن

Table 3- Interaction of supply levels of nitrogen fertilizer and cropping system on plant nitrogen, nitrogen harvest index and nitrogen efficiency

تیمار Treatment		صفات مرتبط با نیتروژن گیاه Nitrogen-related traits in the crop						
تناوب زراعی Crop rotation	نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})	نیتروژن دانه Grain Nitrogen content (%)	نیتروژن کاه Straw Nitrogen content (%)	نیتروژن کل گیاه Total nitrogen (%)	کارایی جذب kg N kg^{-1}N NUpE	کارایی تبدیل kg kg^{-1}N NUtE	کارایی زراعی kg kg^{-1}N NUE	شاخص برداشت نیتروژن NHI (%)
منداب-گندم Wild Rocket-wheat	0	1.65	0.50	0.90	1.12	38.84	43.68	64.07
	180	2.18	0.55	1.22	0.84	33.54	28.11	73.25
	360	2.27	0.57	1.32	0.64	33.39	21.42f	75.72
آیش-گندم Fallow-wheat	0	1.39	0.48	0.77	0.84	42.04	35.27	58.35
	180	1.86	0.53	1.05	0.64	37.55d	24.05	69.70
	360	2.05	0.54	1.18	0.53	36.01f	19.18	73.73
ماش-گندم Mung Bean-wheat	0	1.53	0.50	0.84	1.09	39.78	43.32	60.97
	180	1.93	0.55	1.10	0.78	36.28	28.29	69.82
	360	2.10	0.57	1.21	0.61	34.80	21.32	72.84
ذرت-گندم Corn-wheat	0	1.22	0.46	0.67	0.77	41.74	31.95	50.66
	180	1.54	0.51	0.86	0.59	39.75	23.43	61.16
	360	1.88	0.53	1.05	0.49	36.72	18.18	69.00
FLSD (0.05)		0.109	0.018	0.0502	0.055	2.21	2.34	2.64

نتایج همچنین نشان داد که با افزایش مقدار کود نیتروژن، نیتروژن دانه بیش از نیتروژن کاه افزایش یافت (جدول ۳). نتایج به‌دست آمده توسط درداس و سیولاس (Dordas & Sioulas, 2009) قویا مشاهدات آزمایش حاضر را تایید می‌کند. آن‌ها مطالعه‌ای را برای بررسی تاثیر سطوح کود نیتروژن بر تجمع ماده خشک و توزیع نیتروژن در گیاه گلرنگ انجام دادند، مشاهده کردند که میزان نیتروژن در اندام‌های گیاه تحت تاثیر میزان کوددهی است. آن‌ها همچنین نشان دادند که با افزایش مصرف کود نیتروژن تا حد بهینه افزایش نیتروژن در برگ و ساقه نسبت به دانه کمتر بود. البته افزایش بیش از حد بهینه در میزان نیتروژن، باعث کاهش کارایی تبدیل و افزایش نیتروژن در بخش غیر اقتصادی گیاه گردید.

مقدار نیتروژن دانه در تناوب زراعی منداب-گندم و پس از آن ماش-گندم در سال دوم افزایش ناچیزی پیدا کرد، در حالی‌که مقدار نیتروژن دانه در دو تناوب زراعی دیگر به‌ترتیب در آیش-گندم و ذرت-گندم کاهش یافت (شکل ۱). مشابه این نتایج برای نیتروژن کاه و کل نیز ثبت شد. مطالعات نشان داد، که چرخه نیتروژن می‌تواند از طریق کاشت گیاهان پوششی و یا کشت گیاهان خانواده بقولات بهبود یابد. کاشت گیاهان پوششی علاوه بر مزایای مهم اکولوژیکی باعث بهبود کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک می‌گردد و در نتیجه تلفاتشان را در محیط کاهش می‌دهد (Mazzoncini *et al*., 2011; Coombs *et al*., 2017). افزایش ترسیب کربن و نیتروژن در خاک به‌طور مستقیم منجر به افزایش بیومس گیاهی و همچنین افزایش غلظت نیتروژن در بافت گیاه می‌گردد و در نتیجه حفظ بقایا افزایش کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک را تشدید می‌کند. چرخه‌ای که تا رسیدن به پایداری در خاک باعث افزایش مداوم کربن آلی و نیتروژن می‌گردد (Liang *et al*., 2018).



شکل ۱- اثر متقابل سال و تناوب زراعی بر نیتروژن دانه

WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت

Figure 1- Interaction of year and crop rotation on grain nitrogen

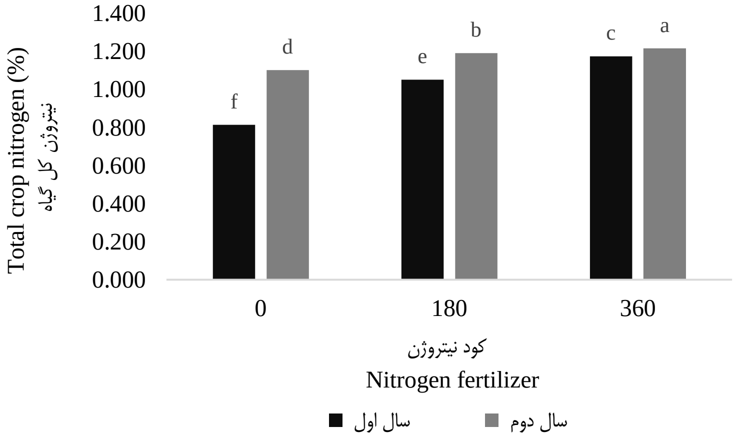
WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، مقدار نیتروژن گیاه در هر سه میزان کود نیتروژن در سال دوم آزمایش بیشتر از سال اول آزمایش بود، که می‌تواند نتیجه افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن ناشی از افزایش کربن آلی خاک و بهبود شرایط حاصلخیزی خاک باشد. استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی، برگرداندن صد درصد بقایای کشت گندم، حذف آیش، کشت گیاه پوششی یا سیستم‌های تغذیه آلی مختلف (آلی، شیمیایی، بیولوژیک و تلفیقی) عواملی بود که مقدار نیتروژن خاک و به تبع آن نیتروژن گیاه را افزایش داد (Jamshidi *et al*., 2011; Verma & Pandy, 2013).

رابطه معکوس و معنی‌داری بین نیتروژن دانه و نیتروژن گیاه با کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی زراعی مشاهد شد. نتایج نشان داد که همبستگی بین نیتروژن دانه با کارایی تبدیل بیش از دو کارایی دیگر است. بیشترین همبستگی بین صفات مرتبط با نیتروژن گیاه بین نیتروژن دانه و شاخص برداشت نیتروژن مشاهده شد. نتایج رابطه مثبت و بسیار معنی‌داری بین نیتروژن دانه و شاخص برداشت نیتروژن نشان داد. همچنین ارتباط بین نیتروژن دانه و نیتروژن کل گیاه نیز یک رابطه مثبت و بسیار معنی‌دار را نشان می‌دهد (جدول ۴).

کارایی نیتروژن: نتایج نشان داد که تیمار منداب-گندم و ماش-گندم بدون مصرف کود نیتروژن بهترین کارایی جذب و کارایی زراعی نیتروژن را از خود نشان دادند. در حالی‌که تیمار ذرت-گندم و آیش-گندم با ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود نیتروژن به‌ترتیب پایین‌ترین کارایی جذب و زراعی را ثبت کردند. کارایی تبدیل بهترین

راندمان را در تیمار آیش-گندم و ذرت-گندم داشتند و دو تیمار مناب-گندم با ۱۸۰ و ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود نیتروژن و پس از آن تیمار ماش-گندم با ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن پایین‌ترین راندمان را نشان دادند (جدول ۳). در مطالعه‌ای مشابه تاثیر تناوب زراعی و سطوح مختلف کوددهی نیتروژن بر شاخص‌های کارایی نیتروژن در گندم بررسی شد، نتایج نشان داد که کارایی تبدیل نیتروژن در تناوب آیش-گندم بیش از سایر تناوب‌ها بود و این موضوع باعث می‌شود که تلفات نیتروژن در این نظام تناوبی به حداقل برسد. همچنین تناوب تربچه‌روغنی-گندم دارای بیشترین کارایی زراعی نیتروژن بود، به طوری که این تناوب بازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی عملکرد اقتصادی ۲۰/۳۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. کارایی زراعی نیتروژن در تناوب زراعی تربچه‌روغنی-گندم سه برابر تناوب آیش-گندم بود، به عبارت دیگر بازده اقتصادی کود نیتروژن مصرفی در تناوب تربچه‌روغنی-گندم سه برابر نظام‌های رایج کشت گندم بود (Nasri *et al.*, 2015).



شکل ۲- اثر متقابل سال و کود نیتروژن بر نیتروژن کل گیاه

Figure 2- Interaction of year and nitrogen fertilizer on total plant nitrogen

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین صفات مرتبط با نیتروژن گیاه

Table 4- Correlation coefficients between traits related to plant nitrogen

NHI	NUE	NUtE	NUpE	TN	GN	
					1.00	GN
				1.00	0.93**	TN
			1.00	-0.39**	-0.35**	NUpE
		1.00	0.30*	-0.88**	-0.93**	NUtE
	1.00	0.54**	0.96**	-0.58**	-0.56**	NUE
1.00	-0.52**	-0.79**	-0.36**	0.97**	0.96**	NHI

GN: نیتروژن دانه، TN: نیتروژن کل گیاه، NUpE: کارایی جذب، NUtE: کارایی تبدیل، NUE: کارایی زراعی نیتروژن، NHI: شاخص برداشت نیتروژن

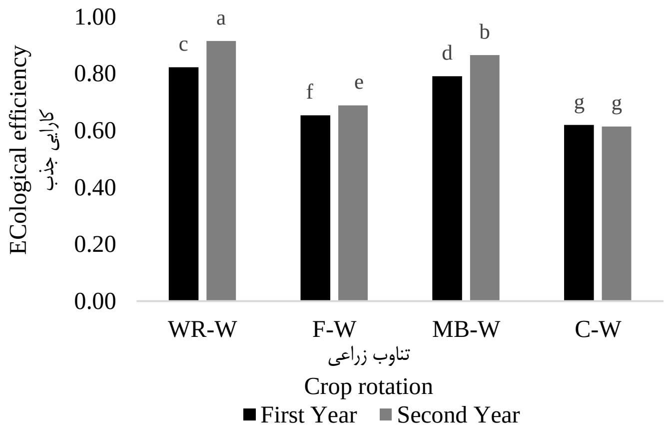
SN: Grain Nitrogen, TN: Total Plant Nitrogen, NUpE: Nitrogen Uptake Efficiency, NUtE: Nitrogen Utilization Efficiency, NUE: Nitrogen Agronomic Efficiency, NHI: Nitrogen Harvest Index

مطالعه همبستگی صفات نشان داد که هر سه نوع کارایی جذب، فیزیولوژیکی و زراعی رابطه معکوس و معنی‌داری با نیتروژن دانه، کاه و کل بوته نشان دادند. بالاترین ضریب همبستگی بین کارایی زراعی و جذب (r = 0.96**) دیده شد. همچنین رابطه معنی‌داری بین کارایی زراعی و کارایی تبدیل (r = 0.54**) و کارایی جذب و کارایی تبدیل (r = 0.3 *) مشاهده شد. همچنین رابطه معکوس و معنی‌داری بین شاخص برداشت نیتروژن و انواع کارایی‌های محاسبه شده وجود داشت (جدول ۴). افزایش تامین کود نیتروژن باعث کاهش کارایی جذب می‌گردد و بالعکس کاهش دسترسی گیاه به نیتروژن کارایی جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد (Yang *et al.*, 2017). نتایج نشان می‌دهد که کارایی مصرف نیتروژن به‌طور قابل‌توجهی از ۳۵ به ۲۷/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم نیتروژن برای اکثر غلات مهم در طی دهه ۹۰ در چین کاهش یافت که عمدتا به دلیل افزایش مصرف کودهای نیتروژن در این مدت بوده است (Zhang *et al.*, 2008).

نتایج همچنین نشان داد که مقدار کارایی جذب و کارایی زراعی در همه تناوب‌های زراعی به‌جز ذرت-گندم در سال دوم نسبت به

سال اول بهبود یافت. همچنین بیشترین افزایش کارایی در سال دوم مربوط به تناوب زراعی منداب-گندم و پس از آن به تناوب زراعی ماش-گندم مربوط بود (شکل ۳ و ۴). البته نقش گندم در بهبود کربن آلی و افزایش حاصلخیزی خاک را نبایستی نادیده گرفت. مطالعات نشان می‌دهد که ارزش گندم در تناوب با سایر گیاهان زراعی بیشتر از ارزشی تجاری آن است. حفظ تنوع تناوب ابزاری برای افزایش کارایی و عملکرد گیاهانی از قبیل سویا و ذرت با استفاده از ورودی نیتروژن کمتر بود. به‌عنوان مثال نتایج یکی از این مطالعات نشان داد که ورود گندم به تناوب باعث شد عملکرد گندم و سویا افزایش یابد و نیاز به کود نیتروژن را برای به حداکثر رساندن عملکرد ذرت کاهش دهد. نتایج برخی محققان نشان داد که میزان کود نیتروژن بهینه در تیمارهایی که گندم همراه با ذرت و سویا کشت شد، کاهش یافت.

مزایای گندم می‌تواند بیشتر به افزایش نسبت دسترسی نیتروژن خاک برای گیاه نسبت داده شود تا افزایش کارایی کود و بنابراین معدنی‌سازی بیومس ریشه گندم و کاه و کلش آن عامل این افزایش دسترسی می‌باشد (Gaudin *et al*., 2015). البته نقش افزایش کربن آلی در بهبود کارایی مصرف نیتروژن حتی در شرایط افزایش تامین کود نیتروژن را نباید نادیده گرفت. بهبود حاصلخیزی خاک، کاهش تلفات نیتروژن و بهبود عملکرد مهمترین دلایل برای افزایش کارایی‌های نیتروژن در گیاه می‌باشد، که می‌توان آن را پیامد افزایش بقایای گیاهی ناشی از کود سبز (منداب) یا گیاه در تناوب (ماش و ذرت)، حفظ کاه و کلش گندم و اجرای خاک‌ورزی حفاظتی و کاهش اکسیداسیون ناشی از به هم خوردن خاک دانست.

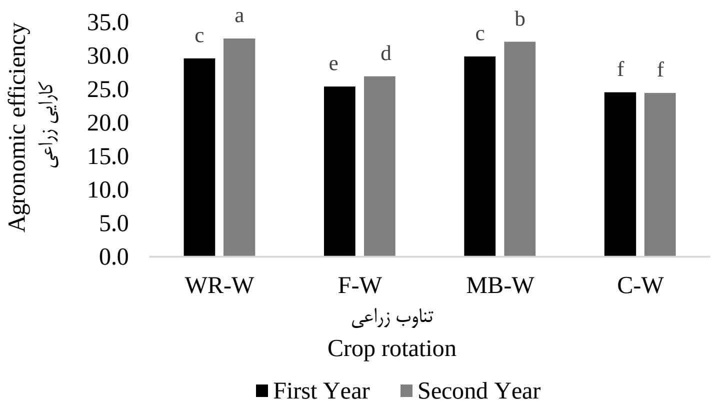


شکل ۳- اثر متقابل سال و تناوب زراعی بر کارایی جذب

WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت

Figure 3- Interaction of year and crop rotation on ecological efficiency

WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn



شکل ٤- اثر متقابل سال و تناوب زراعی بر کارایی زراعی

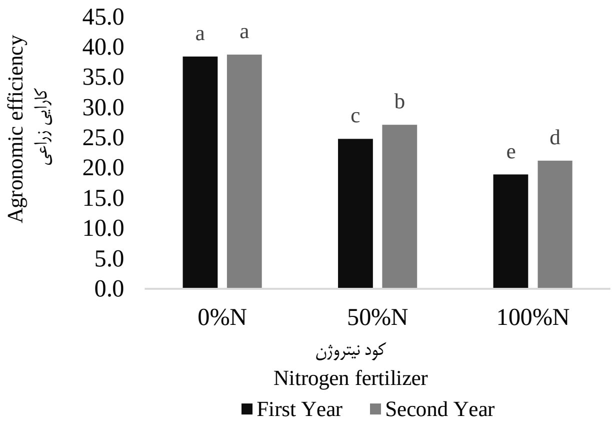
WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت

Figure 4- Interaction of year and crop rotation on agronomic efficiency

WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn

بنابراین نکته کلیدی در افزایش کارایی نیتروژن در همه مطالعات مشابه با نتایج ما در افزایش کربن آلی به هر طریـق ممکـن از قبیـل افزودن بقایای گیاهی، کودهای دامی، کود سبز و کشت مستمر بهویژه در تناوب با خانواده بقولات (بـه منظـور افـزایش مـواد آلـی ناشـی از بیومس و ترشحات ریشه و جلوگیری از اکسیداسـیون آن طـی زمـان آیش) می‌باشد (Musyoka *et al*., 2017).

مطالعه برهمکنش سال و سطوح مختلف کود نیتروژن بر کـارایی زراعی نیتروژن نیز نشان داد که کارایی مصرف نیتـروژن در هـر سـه مقدار کودی در سال دوم افزایش یافت، که بهبود شرایط حاصلخیزی خاک ناشی از افزایش کربن آلی خاک می‌تواند دلیل اصلی این بهبـود باشد. این افزایش در دو مقدار کودی ۳۶۰ و ۱۸۰ کیلـوگرم در هکتـار کود نیتروژن بسیار بیشتر از مقدار بدون تامین کود نیتروژن بود. نتایج همچنین نشان داد که کـارایی زراعـی در شـرایط بـدون تـامین کـود نیتروژن تقریبا دو برابر تیمار ۳۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن می‌باشد، کـه نشان‌دهنده بالاتر بودن بازده نیتروژن خاک در تیمار بـدون کـوددهی است (شکل ۵).



شکل ۵- اثر متقابل سال و کود نیتروژن بر کارایی زراعی

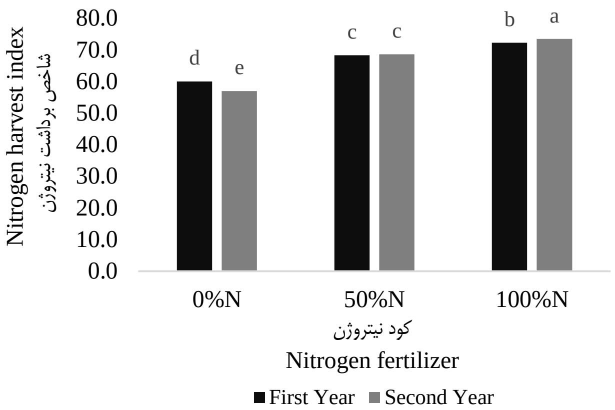
Figure 5- Interaction of year and nitrogen fertilizer on agronomic efficiency

شاخص برداشـت نیتـروژن: نتـایج نشـان داد کـه تفـاوت معنی‌داری بین همه سطوح کود نیتروژن در میزان شـاخص برداشـت نیتروژن وجود دارد، ضمن این‌که افزایش تامین کـود باعـث افـزایش شاخص برداشت نیتروژن شد. تیمار منداب-گندم با ۳۶۰ کیلـوگرم در هکتار کود نیتروژن به علت افزایش تامین نیتروژن گیاه هم از طریـق کود و هم از طریق کود سبز کشـت شـده بهتـرین شـاخص برداشـت نیتروژن را نشان داد، پس از آن ماش-گندم با ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بهترین عملکرد را داشت. در مقابل تیمارهای ذرت-گندم و آیش-گندم بدون تامین کود نیتـروژن بـه‌ترتیـب بـدترین عملکـرد شاخص برداشت نیتروژن را نشان دادند (جدول ۳). البته با وجود نقش بسیار موثر تامین کود نیتروژن در افـزایش شـاخص برداشـت در ایـن تحقیق، نتایج برخی از مطالعات نشان می‌دهد کـه شـاخص برداشـت نیتروژن تحت تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش از جمله سطوح مختلف تامین نیتروژن قرار نگرفت. آن‌ها معتقد هستند که شـاخص برداشـت نیتروژن از جمله شاخص‌هایی است که بیشتر وابسته بـه خصوصـیات ژنوتیپی رقم مورد مطالعـه گنـدم اسـت و کمتـر تحـت تـاثیر عوامـل مدیریتی یا مدیریت تغذیه‌ای گیاه قـرار مـی‌گیـرد (Ebrahimian *et al*., 2012). البته در مقابل برخی مطالعات نشان می‌دهند که شاخص برداشت نیتروژن اگرچه عمدتا تحت تاثیر ژنوتیـپ مـی باشـد، لـیکن نبایستی از نقـش مـوثر مصـرف کارآمـد نیتـروژن چشـم‌پوشـی کـرد (Musyoka *et al*., 2017).

در یک مطالعه مشابه نتـایج نشـان داد کـه واکـنش تنـاوب‌هـای مختلف به مصرف کود نیتروژن متفاوت بود. به عبارتی دیگر شـاخص برداشت نیتروژن در بین تناوب‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نشـان داد، در حالی‌که مصرف نیتروژن تاثیری بر شاخص برداشـت نیتـروژن نداشت. آن‌ها معتقد بودند که در شرایط مصرف زیـاد کـود نیتروژنـه، نیتروژن اضافی جذب شده نمی‌تواند در افزایش عملکرد اقتصادی تاثیر چندانی داشته باشد، لذا شاخص برداشت نیتروژن با افـزایش مصـرف نیتروژن بیش از نیاز گیاه افزایش نخواهد یافت و حتی باعـث کـاهش این شاخص مـی‌گـردد (Nasri *et al*., 2015). حسـینی و همکـاران (Hosseini *et al*., 2013) نیـز افـزایش مصـرف تـامین نیتـروژن را باعث کاهش شاخص برداشت نیتـروژن دانسـتند و علـت آن را عـدم تخصیص نیتروژن به دانه متناسب با میزان جذب نیتروژن دانستند.

نتـایج همچنـین نشـان داد کـه در شـرایط مصـرف ۳۶۰ و ۱۸۰

کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن شاخص برداشت نیتروژن در سال دوم نسبت به سال اول افزایش یافت، که این افزایش در صورت مصرف ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بیشتر بود. در حالی‌که در شرایط بدون تامین کود نیتروژن شاخص برداشت نیتروژن کاهش معنی‌داری دارد. لذا حداقل در کوتاه‌مدت برای افزایش شاخص برداشت نیتروژن تامین حداقلی کود نیتروژن حتی با اعمال شرایط مدیریت زراعی بهبودیافته از قبیل استفاده از کود سبز، حذف آیش و وارد کردن بقولات در تناوب و برگرداندن بقایای گیاهی بایستی استفاده شود، در غیر این صورت کاهش عملکرد اقتصادی باعث کاهش شاخص برداشت نیتروژن خواهد گردید (شکل ۶).



شکل ٦- اثر متقابل سال و کود نیتروژن بر شاخص برداشت نیتروژن

Figure 6- Interaction of year and nitrogen fertilizer on nitrogen harvest index

مطالعه ضرایب همبستگی صفات رابطه مثبت و بسیار معنی‌داری بین ازت کل، دانه و کاه و شاخص برداشت نیتروژن نشان داد. همچنین رابطه معکوس و معنی‌داری بین کارایی‌های مختلف نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن وجود داشت. بهترین همبستگی بین شاخص برداشت نیتروژن و کارایی تبدیل مشاهده شد (r = -0.79**) و پس از آن بیشترین ضریب همبستگی مربوط به کارایی زراعی (r = -0.52**) و کارایی جذب (r = -0.36**) بود. ارتباط بیشتر کارایی تبدیل یا کارایی تبدیل با شاخص برداشت نیتروژن دقیقا مرتبط به تعریف این کارایی و نحوه تخصیص نیتروژن به عملکرد اقتصادی آن است که باعث بیشترین همبستگی با این شاخص می‌گردد (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

کود نیتروژن و تناوب زراعی هر دو بر میزان نیتروژن کاه و دانه گندم تاثیرگذار بودند. کشت مستمر و حذف آیش، استفاده از گیاه پوششی و یا گیاهان خانواده بقولات یا غلات در تناوب زراعی و حفظ بقایا منجر به افزایش ترسیب کربن و نیتروژن در خاک و به تبع آن منجر به افزایش بیومس گیاهی و همچنین افزایش غلظت نیتروژن در بافت گیاه گردید. به طوری که در شرایط مصرف کود نیتروژن مشابه، مقدار نیتروژن محتوی بافت گیاه در میان تناوب‌های مختلف متفاوت بود. تناوب زراعی منداب-گندم به‌ویژه هنگامی که با تامین کود نیتروژن (۳۶۰ یا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن) همراه بود، بیش از سایر تناوب‌های زراعی دیگر باعث افزایش محتوی نیتروژن گیاه (دانه و کاه) گردید، که ناشی از حجم بالای بیومس منداب و تجزیه‌پذیری بالای بقایا به علت نسبت کربن به نیتروژن پایین بود. ماش هم به دلیل تجزیه‌پذیری بالا و همچنین قابلیت تثبیت نیتروژن پاسخ بسیار خوبی به افزایش محتوی نیتروژن گیاه داشت، که البته احتمالا مقدار کمتر بقایا ماش و کربن آلی برگردانده شده به خاک، میزان مزیت آن را نسبت به منداب کمتر نشان داد. تناوب زراعی منداب-گندم همچنین باعث افزایش کارایی جذب و کارایی زراعی نیتروژن گردید. بهبود شرایط خاک ناشی از افزایش کربن آلی مهم‌ترین علت بهبود کارایی جذب و زراعی نیتروژن بود. افزایش حاصلخیزی خاک ناشی از افزایش کربن آلی و نیتروژن و کاهش تلفات آن مهم‌ترین دلایل بهبود کارایی نیتروژن بودند. البته همان‌طور که قابل انتظار بود با افزایش تامین نیتروژن کارایی نیتروژن کاهش یافت. نتایج به وضوح نشان داد که حداقل در کوتاه مدت تامین حداقلی کود نیتروژن (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) حتی با اعمال شرایط مدیریت زراعی بهبودیافته از قبیل استفاده از کود سبز، حذف آیش و وارد کردن بقولات در تناوب و برگرداندن بقایای گیاهی بایستی انجام شود، در غیر این صورت باعث کاهش محتوای نیتروژن گیاه و شاخص برداشت نیتروژن خواهد شد.

References

1. Alhameid, A., Ibrahim, M., Kumar, S., Sexton, P., & Schumacher, T. (2017). Soil organic carbon changes impacted by crop rotational diversity under no‐till farming in South Dakota, USA. *Soil Science Society of America Journal*, *81*, 868-877. https://doi.org/10.2136/sssaj2016.04.0121
2. Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems (USDA). (2011). Retrieved from: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd331820.pdf
3. Chavarria, D. N., Verdenelli, R. A., Serri, D. L., Restovich, S. B., Andriulo, A. E., Meriles, J. M., & Vargas-Gil, S. (2016). Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. *European Journal of Soil Biology*, *76*, 74-82. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.07.002
4. Coombs, C., Lauzon, J. D., Deen, B., & Van Eerd, L. L. (2017). Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. *Field Crops Research*, *201*, 75-85. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.001
5. de Oliveira Silva, A., Ciampitti, I. A., Slafer, G. A., & Lollato, R. P. (2020). Nitrogen utilization efficiency in wheat: A global perspective. *European Journal of Agronomy*, *114*, 126008. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126008
6. Dikgwatlhe, S. B., Chen, Z. -D., Lal, R., Zhang, H. -L., & Chen, F. (2014). Changes in soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage and residue management under wheat–maize cropping system in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*, *144*, 110-118. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.014
7. Dordas, C. A., & Sioulas, C. (2009). Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. *Field Crops Research*, *110*, 35-43. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.06.011
8. Duan, J., Shao, Y., He, L., Li, X., Hou, G., Li, S., Feng, W., Zhu, Y., Wang, Y., & Xie, Y. (2019). Optimizing nitrogen management to achieve high yield, high nitrogen efficiency and low nitrogen emission in winter wheat. *Science of the Total Environment*, *697*, 134088. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134088
9. Ebrahimian, A., Kouchaki, A. R., Mahallati, M. N., Khorramdel, S., & Beheshti, A. R. (2012). The effect of different tillage systems and crop residues on the efficiency of nitrogen uptake and consumption in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research*, *6*. (in Persian).
10. Gan, Y., Liang, C., Chai, Q., Lemke, R. L., Campbell, C. A., & Zentner, R. P. (2014). Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications*, *5*, 1-13. https://doi.org/10.1038/ncomms6012
11. Gaudin, A. C., Janovicek, K., Deen, B., & Hooker, D. C. (2015). Wheat improves nitrogen use efficiency of maize and soybean-based cropping systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *210*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.034
12. Hosseini, R. S, Gashi, S., Soltani, A., Kalateh, M., & Zahed, M. 2013. The effect of nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency indices in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Agricultural Research*, *11*, 300-306. (in Persian).
13. Jamshidi, A., Qalavand, A., Sefidkan, F., & Tappeh, M. M. G. (2011). The effect of application of different nutritional systems (organic, chemical, biological and integrated) on the performance and concentration of foliar elements And fennel seeds. *Environmental Science*, *8*, 72-59. (in Persian).
14. Khamdi, F., Mesgarbashi, M., Hasibi, P., Farzaneh, M., & Zamir, N. A. (2015). The effect of plant residues and different levels of nitrogen fertilizer on the quality and concentration of micronutrients in wheat grain. *Applied Agricultural Research*, *28*, 158-166. (in Persian with English abstract).
15. Liang, S., Li, Y., Zhang, X., Sun, Z., Sun, N., Duan, Y., Xu, M., & Wu, L. (2018). Response of crop yield and nitrogen use efficiency for wheat-maize cropping system to future climate change in northern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, *262*, 310-321. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.07.019
16. Mazzoncini, M., Sapkota, T. B., Barberi, P., Antichi, D., & Risaliti, R. (2011). Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil and Tillage Research*, *114*, 165-174. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.05.001
17. Moshiri, F., Tehrani, M. M., Shahabi, A. A., Keshavarz, P., Khogar, Z., Feyzi, V., Asadi, H., Samavat, S., Sedri, M. H., Rashidi, N., Soadat., S., & Khademi, Z. (2014). Instructions for integrated management of soil and wheat nutrition. *Soil and Water Research Institute*. (in Persian).
18. Musyoka, M. W., Adamtey, N., Bünemann, E. K., Muriuki, A. W., Karanja, E. N., Mucheru-Muna, M., Fiaboe, K. K., & Cadisch, G. (2019). Nitrogen release and synchrony in organic and conventional farming systems of the Central Highlands of Kenya. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *113*, 283-305. https://doi.org/10.1007/s10705-019-09978-z
19. Musyoka, M. W., Adamtey, N., Muriuki, A. W., & Cadisch, G. (2017). Effect of organic and conventional farming systems on nitrogen use efficiency of potato, maize and vegetables in the Central highlands of Kenya. *European Journal of Agronomy*, *86*, 24-36. https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.005

20. Nasri, R., Kashani, A., Nejad, F. P., Vazan, S., & Barari, M. (2015). Evaluation of the effect of different nitrogen fertilizer cycles and levels on yield, yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) and Nitrogen efficiency indicators. *Iranian Agricultural Research*, *13*, 553-569. (in Persian with English abstract).
21. Pinto, P., Long, M. E. F., & Piñeiro, G. (2017). Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *248*, 48-57. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.028
22. Powlson, D. S., Whitmore, A. P., & Goulding, K. W. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, *62*, 42-55. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x
23. Rathore, S., Kumar, V., Vivek, P., Singh, S., Mahajan, N. C., & Kumar, Y. (2018). Long term effects of tillage and residue management on soil aggregation, soil carbon sequestration and energy relations under rice–wheat cropping system in Typic Ustochrept soil of Uttar Pradesh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*, 237-247.
24. Schlesinger, W. H. (2010). On fertilizer ‐ induced soil carbon sequestration in China's croplands. *Global Change Biology*, *16*, 849-850. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01958.x
25. Spohn, M. (2020). Increasing the organic carbon stocks in mineral soils sequesters large amounts of phosphorus. *Global Change Biology*, *26*, 4169-4177. https://doi.org/10.1111/gcb.15154
26. Srivastava, R., Panda, R., Chakraborty, A., & Halder, D. (2018). Enhancing grain yield, biomass and nitrogen use efficiency of maize by varying sowing dates and nitrogen rate under rainfed and irrigated conditions. *Field Crops Research*, *221*, 339-349. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.019
27. Van der Meer, H. (2008). Optimising manure management for GHG outcomes. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *48*, 38-45. https://doi.org/10.1071/EA07214
28. Verma, N. K., & Pandey, B. K. (2013). Effect of varying rice residue management practices on growth and yield of wheat and soil organic carbon in rice-wheat sequence. *Global Journal of Science Frontier Research Agriculture and Veterinary Sciences*, *13*, 32-38.
29. Xia, L., Lam, S. K., Wolf, B., Kiese, R., Chen, D., & Butterbach Bahl, K. (2018). Trade offs between soil carbon sequestration and reactive nitrogen losses under straw return in global agroecosystems. *Global Change Biology*, *24*(12), 5919-5932. https://doi.org/10.1111/gcb.14466
30. Yadav, M., Kumar, R., Parihar, C., Yadav, R., Jat, S., Ram, H., Meena, R., Singh, M., Verma, A., & Kumar, U. (2017). Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review. *Agricultural Reviews*, *38*, 29-40. https://arccjournals.com/journal/agricultural-reviews/R-1677
31. Yang, X., Lu, Y., Ding, Y., Yin, X., & Raza, S. (2017). Optimising nitrogen fertilisation: a key to improving nitrogen-use efficiency and minimising nitrate leaching losses in an intensive wheat/maize rotation (2008–2014). *Field Crops Research*, *206*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.016
32. Zhang, F., Wang, J., Zhang, W., Cui, Z., Ma, W., Chen, X., & Jiang, R. (2008). Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. *Acta Pedologica Sinica*, *45*, 915-924.
33. Zhang, X., Sun, N., Wu, L., Xu, M., Bingham, I. J., & Li, Z. (2016). Effects of enhancing soil organic carbon sequestration in the topsoil by fertilization on crop productivity and stability: Evidence from long-term experiments with wheat-maize cropping systems in China. *Science of the Total Environment*, *562*, 247-259. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.193